

温度勾配下における緩衝材浸潤時の物質移行に関する数値解析

核燃料サイクル開発機構 正会員 伊藤彰、非会員 川上進、油井三和
ハザマ 正会員 千々松正和

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分における処分場閉鎖後のニアフィールドの挙動は、廃棄体からの放熱、周辺岩盤から人工バリアへの地下水浸潤、地下水浸潤による緩衝材の膨潤圧の発生、緩衝材/間隙水組成の変化など、熱的、水理的、力学的、化学的なプロセスが相互に影響することが予想される。核燃料サイクル開発機構はこれまでに、種々の試験を通じて開発された熱-水-応力連成モデルを用いて、緩衝材の再冠水挙動評価¹⁾を行っているが、上述した緩衝材/間隙水組成の変化といった挙動を捉えるためには、熱-水-応力連成モデルに加えて、物質移行モデルおよび地球化学モデルが必要となる。本報告は、これら全てを考慮したモデルの構築に先立って、熱-水-応力連成モデルに物質移行モデルを追加し、温度勾配下における緩衝材浸潤時の物質移行に関する数値解析を実施したものである。

2. 概念モデルと数値解析手法

不飽和緩衝材中の水分は、液状水と水蒸気の2つの移動形態をとることが知られており、緩衝材再冠水時には廃棄体からの放熱によって生じる温度勾配により、水蒸気移動が卓越する。温度勾配下における緩衝材浸潤時の物質移行を表現する概念モデルとしては、水蒸気移動および液状水量の減少が卓越し溶質濃度が上昇することを考慮に入れた。この概念モデルを数値解析に反映するためには、液状水のみを物質移行媒体とした物質移行解析が必要となる。溶質濃度の計算に水蒸気量を関与させない方法をとるために、熱-水-応力連成解析結果の後処理で水に関して気液分離計算を行い、液状水の流速および体積含水率を物質移行解析に引き渡すこととした。溶質濃度の計算は、物質移行に関して移流分散を計算し、溶解/沈殿は溶質の溶解度を判定基準として計算する内容となっている（図-1）。

3. 数値解析の内容および結果

解析モデルは1次元カラム試験を想定し、ベントナイトケイ砂混合体乾燥密度 $1,600\text{kg/m}^3$ 、 $L=0.1\text{m}$ を対象とした（図-2）。解析モデルに上下で20の温度差を与え、低温側である上面から3.3wt%のNaCl溶液を浸潤させた場合の挙動を解析した。解析に使用した初期・境界条件は、表-1に示す通りであるが、初期濃度は、緩衝材に含まれるClイオン濃度をNaCl濃度に換算したものである。

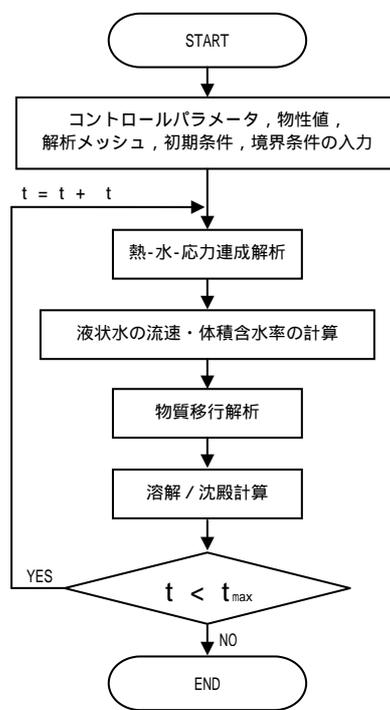
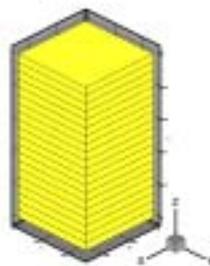


図-1 数値解析フロー



解析モデル
 ・ベントナイトケイ砂混合体
 乾燥密度 $1,600\text{kg/m}^3$
 ・ $L=0.1\text{m}$ ($z=0.0 \sim z=0.1\text{m}$)
 ・z方向分割数: 20

図-2 解析モデル図

高レベル放射性廃棄物、緩衝材、熱-水-応力連成解析、物質移行解析

連絡先（茨城県那珂郡東海村村松 4-33、TEL:029-287-3247、FAX:029-287-3704）

表-1 初期・境界条件

初期条件		境界条件	
温度	80	温度	上面(z=0.1m) : 80 固定 下面(z=0.0m) : 100 固定 側面 : 断熱
体積含水率	8.4%	流れ場	上面 : 圧力水頭 0.0m 固定 下面、側面 : 流入出なし
NaCl 濃度	0.07wt%	NaCl 濃度	上面 : 3.3wt%固定 下面、側面 : 流入出なし

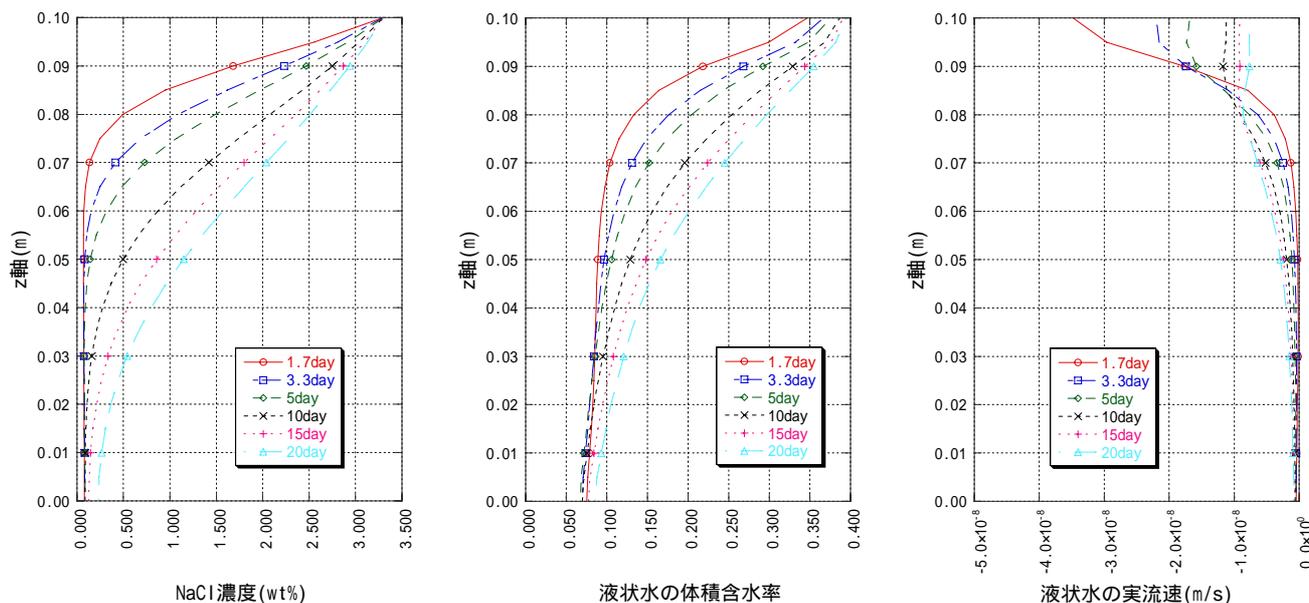


図-3 数値解析結果

z 軸方向の NaCl 濃度分布、液状水の体積含水率分布、液状水の実流速分布の数値解析結果を図-3 に示す。体積含水率は、モデル上面からの浸潤によりモデル中部～上部(z=0.03～0.10)で時間の経過に伴い上昇している。また、モデル下面からの熱により下面から上面へ向けて水分移動(水蒸気による移動)が発生し、モデル下部(z=0.00～0.03)の体積含水率は初期値から一度減少、その後にモデル上面からの浸潤により上昇に転じている。NaCl 濃度は時間の経過に伴って全体的に上昇しており、空間的には z 軸に対して凹的な濃度分布が得られた。これは、緩衝材浸潤時の物質移行が、移流的な挙動よりも拡散的な挙動が卓越しているためと考えられる。また、モデル下部の NaCl 濃度は、体積含水率の減少に伴って、初期値よりも上昇(濃縮)する結果が得られているが、浸潤水濃度に比べればその絶対値は小さいものであった。今回行った計算では、浸潤水濃度を越えるような局所的な濃度上昇などは認められなかった。

4. まとめ

液状水のみを物質移行媒体とした温度勾配下における緩衝材浸潤時の物質移行に関する数値解析を実施した。今後は、同内容の室内試験と対比を行い、本解析の妥当性を確認していく。また、緩衝材/間隙水組成の変化といった挙動を捉えるために、熱-水-応力連成モデル、物質移行モデルに加えて、地球化学モデルを組み込んだ数値解析に取り組んでいく。

【参考文献】 1)核燃料サイクル開発機構(1999):“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性、地層処分研究開発第2次取りまとめ、分冊2、地層処分の工学技術”、JNC TN1400 99-022。